

## 공기중의 라돈 농도 측정을 위한 CR-39의 교정

박영웅 · 장시영 · 하정우 · 노성기

한국에너지 연구소

### 요 약

CR-39 고체비적검출기를 교정하기 위하여 밀봉 순환 방식의 고체비적검출기 교정 장치와 밀리포어 필터가 부착된 라돈컵을 제작한 후 기지의 라돈농도에 대한 비적 수를 측정하였다.

그 결과 CR-39 고체비적검출기의 단위 면적당 생성된 비적 수에 대한 시간 적분 라돈 농도는  $0.24 \pm 0.09$  (pCi/l) · day / (Tr/cm<sup>2</sup>) 였다.

고체비적검출기 교정장치, 라돈컵, CR-39, 환산 인자, 열처리, 백그라운드

### 1. 서 론

고체비적검출기(SSNTD)는 플라스틱, 유리, 운모 등의 부도체에 입사한 하전 입자에 의해 생긴 비적을 화학 부식하여 확대시켜 현미경 등으로 판독하여 방사선량을 정량화 할 수 있는 검출기이다.

현재 카보네이트계의 합성수지를 비롯하여 니트로셀룰로오스, 아크릴계등 여러 종류의 고체비적검출기가 개발되었으며 이들 중에서 투명성, 내열성, 그리고 다른 고체비적검출기에 비하여 내화특성이 우수한 카보네이트계의 CR-39 중합체[1]가 가장 널리 이용되고 있다.

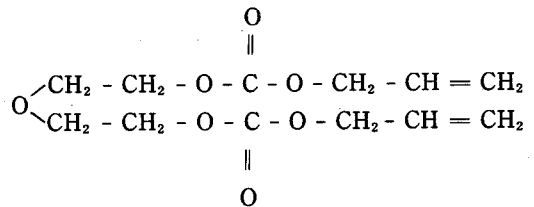
고체비적검출기는 1965년 Fleischer가 우주선에서 중하전 입자를 측정할 이후 계속적으로 연구가 진행되어 왔으며 이것을 이용하여 1980년 공기중에서 라돈 농도를 측정하였다.[2]

본 실험의 목적은 고체비적검출기 교정장치를 제작 이용하여 CR-39 고체비적검출기를 공기중의 라돈농도 측정에 이용하기 위한 환산 인자를 도출하는데 있다.

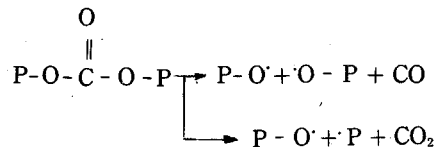
### 2. 비적의 생성 원리

카보네이트계의 CR-39는 화학명이 diethylene

glycol bis(allyl carbonate)인 다음과 같은 단량체를 중합시킨 것이다.

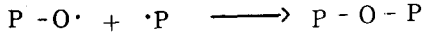


말단에 위치한 알릴기의 이중결합에 의하여 중합이 이루어지며 중합체에 방사선을 조사시키면 다음과 같이 카보네이트기가 분해되어 래디칼을 생성하며 CO 혹은 CO<sub>2</sub>가 발생한다.[3]



이때 생성된 래디칼은 물이나 산소등에 의하여 수산기로 변화되며 결과적으로 방사선과 작용한 부분에서 가수분해 속도는 증가하여 비적이 생성된다.

또한 방사선에 의하여 분해된 래디칼은 화학 부식하기 전에 열처리 하면 다음과 같이 재결합하여 백그라운드를 낮출수 있다.[4]



### 3. 실험장치 및 실험방법

공기중의 라돈 농도를 측정하는데 사용할 CR-39의 환산인자를 결정하기 위하여 그림 1과 같은 고체비적검출기 교정장치를 제작하였으며, 라돈 농도 측정시 자해중들의 영향을 제거하기 위해 그림 2의 라돈컵을 제작하여 컵의 바닥에 CR-39를

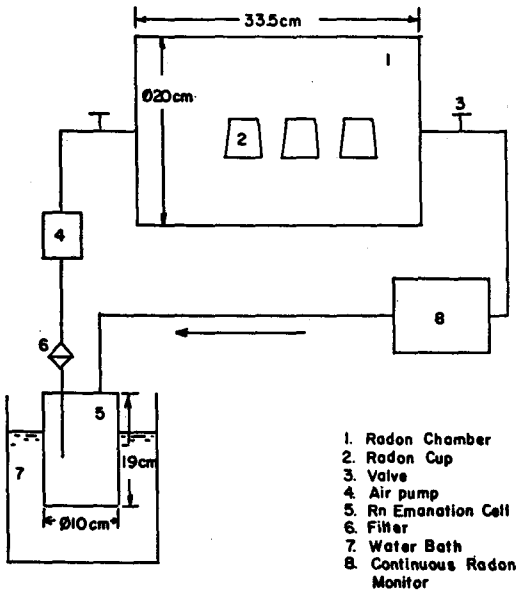


Fig. 1. Schematic diagram of CR-39 calibration system.

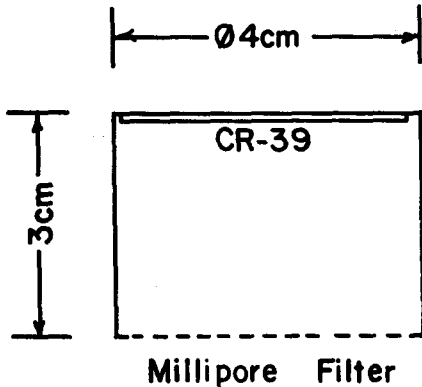


Fig. 2. Radon cup geometry.

부착하고 입구에는 0.45  $\mu\text{m}$ 기공의 Millipore filler를 부착하였다. [5]

고체비적검출기 교정장치는 그림 1과 같이 건조상태의 라듐염 1.1 nCi가 들어있는 내부용적이 1 l인 라돈 발생 용기와 9l의 라돈버 그리고 신틸레이터셀의 용적이 1l인 라돈농도 연속측정기로 구성된 밀봉 순환 방식이며, 방사평형이 이루어졌을 때 교정장치 내부의 라돈 농도는 100 pCi/l에 해당한다.

방사평형이 이루어지기까지는 30일 이상의 시간이 필요하므로 본 연구에서는 교정장치를 가동할 때 내부의 라돈농도가 약 10-30 pCi/l 되는 시간에 실험을 시작하였으며, CR-39가 라돈 방사선에 피폭된 누적시간과 라돈농도 연속측정기가 나타내는 평균 라돈농도를 곱하여 시간적분 라돈농도를 계산하였다.

CR-39에 생성된 비적수에 대한 시간적분 라돈농도의 관계로부터 환산인자를 계산하였으며, 시간적분 라돈농도의 변화에 대한 비적수 변화가 선형관계가 있는가를 관찰하여 교정장치의 건전성을 확인하였다.

라돈 방사선에 조사된 CR-39는 70°C의 6.25 N-NaOH 수용액에서 5.5시간 동안 가열 교반하여 비적이 나타나게 하였으며 비적의 형태는 그림 3과 같다. 시료 1 mm<sup>2</sup>를 마이크로피쉬 판독기로 확

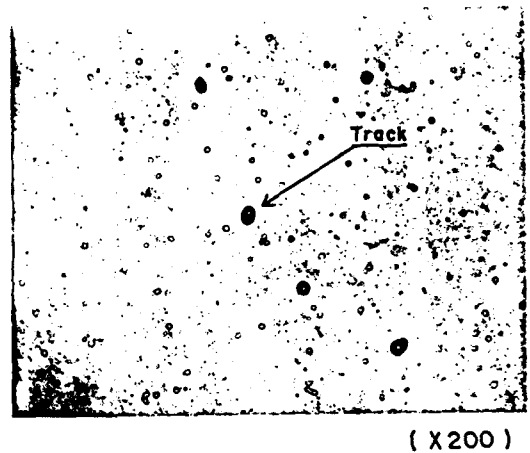


Fig. 3. A view of  $\alpha$ -track on CR-39 after 5.5 hr etching in 70°C, 6.25 N-NaOH solution.

**Table 1.** Concentration of radon as a function of integrated time in SSNTD calibration system.

Integrated of Radon Time (hr)	Sample No. and Concentration (pCi/l)					
	1	2	3	4	5	6
4	9.67	15.9	12.0	18.1	19.1	28.7
8	10.5	15.9	12.2	18.4	19.9	29.2
12	10.9	16.5	12.8	18.7	19.9	27.6
16	11.1	17.2	13.8	18.9	20.2	29.2
20	10.9	16.9	14.2	18.5	21.0	27.5
24	11.3	16.7	14.6	18.5	20.1	28.3
28		16.5	14.5	17.6	20.7	28.8
32		17.2	15.4	18.3	20.9	28.4
36		17.6	16.3	18.4	21.0	29.1
40		17.0	17.2	18.9	20.8	28.3
44		17.5	17.0	19.1	20.8	27.5
48		17.1	17.3	18.4	21.4	27.1
52			17.5	19.0	21.8	27.6
56			17.9	19.5	21.6	26.9
60			18.8	19.0	21.3	27.3
64			18.9	19.2	21.3	26.8
68			19.1	19.3	21.8	27.0
72			19.5	19.4	21.4	27.2
76					21.7	25.7
80					22.2	26.4
84					22.0	26.1
88					22.1	26.3
92					21.4	26.0
96					22.2	25.1
100						27.0
104						26.9
108						26.3
112						26.1
116						26.0
120						25.3
Ave.	10.7	16.8	16.1	18.7	21.1	27.3
	±0.6	±0.6	±2.4	±0.5	±0.8	±1.2

대하여 비적을 측정하였으며 30 회 측정된 평균값을 비적수로 취하였다.

실험에 사용한 CR-39는 American Acrylic 사 제품이며 백그라운드를 낮추기 위하여 방사선에 조사시키기 전에 CR-39를 120 °C의 온도에서 2 시간 동안 열처리 하였으며, 고체비적검출기 교정장치에 부착한 라돈농도 연속측정기는 미국 Eberline 사 제품 (Model-RGM-2) 으로 사용시 펌프의 유속은 약 0.95 /min 였다.

**4. 결과 및 고찰**

라돈챔버에 CR-39가 부착된 라돈접을 넣은 후 효율측정장치 내부의 공기를 순환시킬 때 라돈농도 연속측정기가 나타내는 측정값은 표 1 과 같이 비교적 일정한 값을 나타내었다.

또한 낮은 농도의 라돈을 측정하기 위해 CR-39를 열처리하여 백그라운드를 413±38 Tr/cm<sup>2</sup>에서 183±Tr/cm<sup>2</sup>으로 낮추었는데 이값은 측정 기간을 1 개월로 하였을 때 실험결과에서 얻은 환산인자를 고려하면 측정가능한 평균 라돈농도는 약 0.3 pCi/l 임을 의미한다.

시간적분 라돈농도와 CR-39에 나타난 비적수의 관계로부터 얻은 환산인자는 표 2 에서와 같이 0.24±0.09 (pCi/l) · day / (Tr/cm<sup>2</sup>)였으며, 그림 4 에서 볼 수 있는 바와 같이 시간적분 라돈농도와 단위면적당 생성된 비적수는 선형적 관계를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

실험결과를 다음과 같이 식의 형태로 나타낼 수 있으며 이식을 이용하여

$$C_{Rn} = K \frac{Tr}{\theta}$$

여기서

$C_{Rn}$  : 공기중의 평균 라돈농도 (pCi/l)

$K$  : 환산인자 0.24(pCi/l) · day)/(Tr/cm<sup>2</sup>)

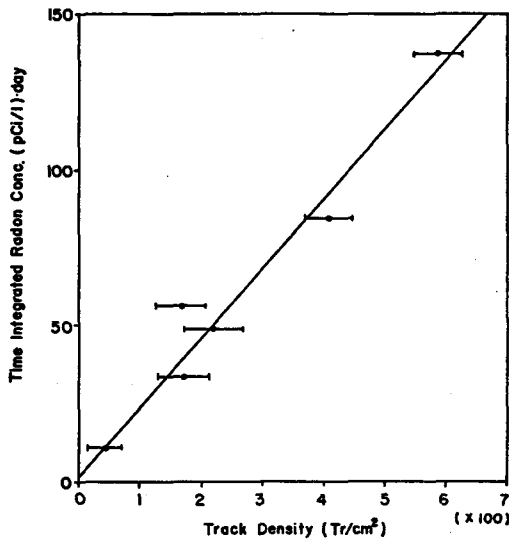
$Tr$  : CR-39에 생성된 비적수 (Tr/cm<sup>2</sup>)

$\theta$  : 누적시간 (day)이다.

이 식을 이용하여 공기중의 평균 라돈 농도를 낮은 농도 범위에서도 효과적으로 측정할 수 있을 것으로 믿어진다.

**Table 2.** Relationship between time intergrated radon concentration and track density in CR-39 with Millipore filter.

Sample No.	Time Integrated Radon conc. [(pCi/l) day]	Track Density (Tr/cm <sup>2</sup> )	Calibration Factor (pCi/l) day / (Tr/cm <sup>2</sup> )
1	10.7 ± 0.6	42 ± 30	0.25 ± 0.18
2	33.6 ± 0.6	169 ± 43	0.20 ± 0.05
3	48.3 ± 2.4	218 ± 48	0.22 ± 0.05
4	56.1 ± 0.5	166 ± 40	0.34 ± 0.08
5	84.4 ± 0.8	404 ± 39	0.21 ± 0.02
6	136.5 ± 1.2	585 ± 40	0.23 ± 0.02
Ave.	61.6 ± 1.5	264 ± 40	0.24 ± 0.09



**Fig. 4.** Relationship between time integrated radon concentration and track density on CR-39 attached inside bottom of the cup.

### 5. 결 론

공기중에 낮은농도로 존재하는 라돈농도를 측정하기 위해 CR-39을 열처리하여 백그라운드를 413±38 Tr/cm<sup>2</sup>에서 183±24 Tr/cm<sup>2</sup>으로 낮추었으며 열처리한 CR-39를 라돈검에 부착한 후 고체 비적검출기 교정장치에 넣어 일정 시간동안 라돈 방사선에 조사시킨 결과 단위 면적당 비적수에 대한 시간적분 라돈농도 환산인자는 0.24±0.09 (pCi/l)·day / (Tr/cm<sup>2</sup>) 였다.

### REFERENCES

1. G.Somogyi, "Status of development in the field of CR-39 track detectors", in : *Solid-state Nuclear Track Detectors*, p.101, Pergamon Press, Oxford (1981).
2. A.E.Nevissi, "Methods for detection of radon and radon daughters", in : *Indoor Radon and its Hazards*, p.31, University of Washington Press, Seattle and London (1989).
3. T.A.Gruhn and E.V.Benton, "The chemical basis of the photooxidative enhancement of track etching in the polycarbonate of bisphenol-A", in : *Solid-state Nuclear Track Detectors*, p.70, Pergamon Press, Oxford (1981).
4. C.E.Schildknecht, "Diallyl and related polymers", in : *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, 4, pp.786-787, John Wiley Son (1986).
5. H.W.Alter and B.L.Fleischer, "Passive integrating radon monitor for environmental monitoring", *Health Physics*, 40, 694 (1981).

## Calibration of CR-39 for Measurement of Radon in Air

Y. W. Park, S. Y. Chang,  
C. W. Ha, and S. G. Ro

*Korea Advanced Energy Research Institute, Daejeon, Korea*

### ABSTRACT

In order to calibrate the CR-39 Solid State Nuclear Track Detector(SSNTD), a closed-circulation type SSNTD-Calibration-System containing a radon-cup with the Millipore filter has been set-up, and the tracks produced on the SSNTD were measured for the known amount of radon concentration.

Calibration factor for the time integrated radon concentration as a function of the track density on CR-39 was estimated to be  $0.24 \pm 0.09$  (pCi/l) day / (Tr/cm<sup>2</sup>).

*SSNTD-Calibration-System, Radon-Cup, CR -39, Pre-heating, Conversion Factor, Background*